基于手机定位数据的西宁市老年人公园绿地可达性预测

赵志远[1,2,3]， 丁逸尘[1,2]， 杨喜平[4,5]， 吴 升[1,2,3]

（1. 福州大学数字中国研究院(福建),福建 福州 350003；2. 空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室，福建 福州 350003；3. 海西政务大数据应用协同创新中心,福建 福州 350002；4. 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室,广东 深圳 518000；5. 陕西师范大学地理科学与旅游学院,陕西 西安 710119）

摘 要：预测并分析老年人公园绿地资源可获取性对提高老年人生活品质、有效应对我国老龄化社会带来的有关挑战具有重要意义。为使城市公园绿地的分布更具“适老性”,基于西宁市带有年龄标识信息的手机位置数据,识别并预测老年人口的空间分布,运用高斯两步移动搜索法对老年人公园绿地可达性进行研究及预测。结果表明:(1) 2018—2028年老年人数显著增加,且老年人数变化量呈现中心城区及远郊区较低、近郊区高的环状分布特征。(2) 10 a间,老年人公园绿地可达性的空间分布总体格局未发生显著变化,但可达性水平总体下降。(3) 2018—2028年老年人公园绿地可达性相对变化量较大,步行和公交30 min条件下,约87%的空间单元的公园绿地可达性降低超过70%。研究结果补充了高空间精度下城市老年人公园绿地可达性研究的不足,提供了面向老龄化发展需求的城市未来公园绿地规划建议。

关 键 词：老年人；公园绿地；手机数据；可达性；高斯两步移动搜索法；西宁市

文章编号：1000－6060(2023)10－1744－13(1744～1756)

人口老龄化是21世纪人类社会共同面临的重要议题[1]。据国家卫生健康委员会报告可知,2035年前后,我国60岁及以上老年人口将突破$4×10^8$,进入重度老龄化阶段。老年人逐渐成为城市生活的主要构成群体,中共二十大报告强调要“实施积极应对人口老龄化国家战略”,保障并优化老年人公共服务资源可获取性,是满足老年人对美好生活向往的主要部分。城市公园绿地作为城市绿色开放空间的重要组成部分,是老年人户外休闲活动的重要场所,有利于满足老年人的生理和心理需求。预测并合理布局城市公园绿地使其更加具备“适老性”,是提高老年人生活质量的重要途径。

可达性是指从空间中某一点到另一点的容易程度[2],可以反映居民借助交通工具获得公共服务资源的机会,是衡量公共服务设施服务水平的常用测度指标,其度量方法主要有引力模型法[3]、网络分析法[4]、最邻近法[5]和两步移动搜索法[6-7]等。其中,两步移动搜索法(2SFCA)最早由Radke等[8]提出,因能有效顾及供应规模和需求分配,被用于各类公共服务设施可达性评价和优化。Wang等[9]、Li等[10]基于该方法在医疗卫生、公园绿地等公共资源配置方面进行了研究。但早期的两步移动搜索法未考虑距离衰减因素[11],对现实应用需求存在不足。随后,Dai[12]引入高斯函数度量距离衰减效应,提出高

收稿日期：2022-12-22； **修订日期**：2023-02-22

基金项目：国家自然科学基金项目(42201500,42271468);福建省中央引导地方科技发展专项(2020L3005);空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室开放基金(2022LSDMIS03);自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室开放基金资助课题(KF-2022-07-005)资助

作者简介：赵志远(1989-),男,博士,副研究员,主要从事人群动态观测与应用建模等方面的研究. E-mail: zyzhao@fzu.edu.cn

斯两步移动搜索法(G2SFCA)，增强了可达性计算的合理性，被广泛应用于城市公共服务设施的可达性评价，如公园绿地[13]、医疗设施[14]和养老设施[15]等。随着世界人口老龄化趋势加深，学者们开始重点关注不同年龄群体的公园绿地可达性差异[16-17]。研究显示，与年轻群体相比，老年群体活动减少，且获得绿地资源的机会也更少[18-19]。Guo等[20]运用手机数据获取老年人口的空间分布及进入公园的意愿，探究社会经济地位对老年人公园绿地可达性的影响。Wen等[21]以德国汉诺威为研究案例，重点探究老年人与其他年龄组获取城市绿地的差异。学者们还研究了山地城市、城市老旧居住区等区域的老年群体公园绿地可达性，发现公园绿地在空间分布与资源匹配上都存在不合理、不公平的现象[22-23]。

人口普查数据和WorldPop数据(https://hub.worldpop.org)是现有研究中2个重要的人口分布数据来源。其中能够公开获取的人口普查数据空间精度相对较低，更新周期较长而且在较细空间尺度(如县级区划)的人口数据缺乏年龄结构信息；而对于WorldPop获取人口信息，由于其数据高度依赖人口普查数据[24-25]，同样存在更新时间滞后、评估结果可信度依赖地理环境属性数据质量等限制。上述两类数据难以支撑面向特定人群的精准化分析和应用。随着信息和通信技术的快速发展，高空间精度人群位置感知能力显著提升，以手机位置数据为代表的大规模人群位置感知数据，被广泛应用于人类移动性特征分析[26]。目前，国内外学者主要利用手机数据进行人群活动模式识别[27]、城市职住通勤特征分析[28]和居民出行行为建模[29-30]等方面的研究，已有学者利用手机数据进行城市公园绿地可达性分析[31-33]，但受限于年龄信息缺失，围绕老年群体公园绿地服务需求的研究仍较少。此外，现有研究重点关注过去或当前的城市公园绿地可达性，缺少对城市未来公园绿地服务水平的评估。

因此，本文基于带有年龄标识信息的手机位置数据，识别并预测老年人口的空间分布，运用高斯两步移动搜索法对老年人公园绿地可达性进行研究及预测。有关方法和结论能够面向老龄化发展需求，为优化城市公园绿地规划提供方法支持和决策支撑。

1　研究区概况

本文以西宁市主城区作为研究区域(图1)。西宁市是青海省省会，地处青海省东部、湟水中游河

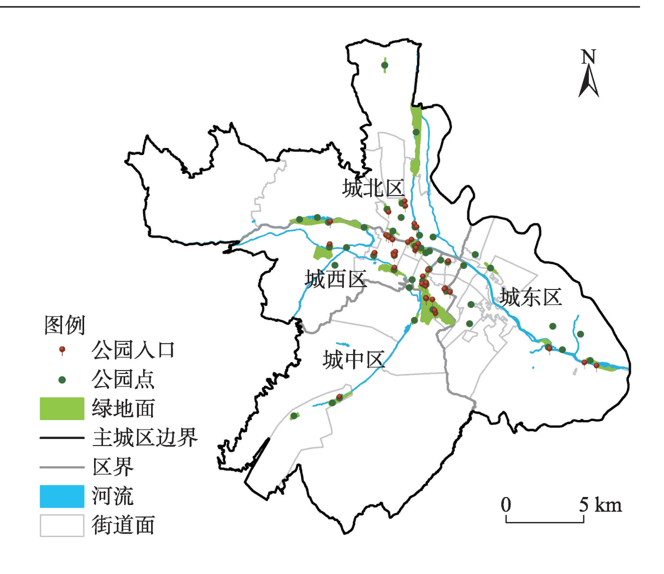


图1　西宁市主城区公园绿地分布情况

Fig. 1　Distribution of parks and green spaces in main urban districts of Xining City

谷盆地，是中国西北地区重要的中心城市。受到地形因素限制，西宁市主城区建成区呈现出东西“十字”放射条带状的空间结构特征。截至2018年，西宁市城镇人口1.71×10^6人，主城区面积约360 km^2。根据青海省民政信息网可知，2018年西宁市60岁以上老年人口3.89×10^5人，占人口总数的16.5%，占全省老年人口数的50%，是青海省最早进入老龄化的城市，也是老龄化程度最高的地区。

2　数据与方法

2.1　数据来源及处理

手机位置数据。本文使用的手机位置数据来源于某移动运营商，记录位置覆盖西宁市主城区空间范围，包含用户3.8×10^5个，占西宁市城镇常住人口的22%。数据时间跨度为2018年8月1—6日，包括4个工作日和2个休息日，每天平均记录数约为4.3×10^7条，平均时间采样间隔为29 min，能够较为完整地记录用户日常位置信息，每条记录包含用户匿名化ID、位置和时间等基础信息，同时也包含年龄段、性别等非敏感属性标签信息[29]。因此，本文数据集能够有效地反映有关人群日常活动位置信息，在用于城市居民活动分析时具有较好的代表性。本文根据手机数据共识别出近2600个手机基站点，基站间平均距离为191.26 m，基站密度分布如图2所示。

公园绿地数据。通过百度地图API接口获取

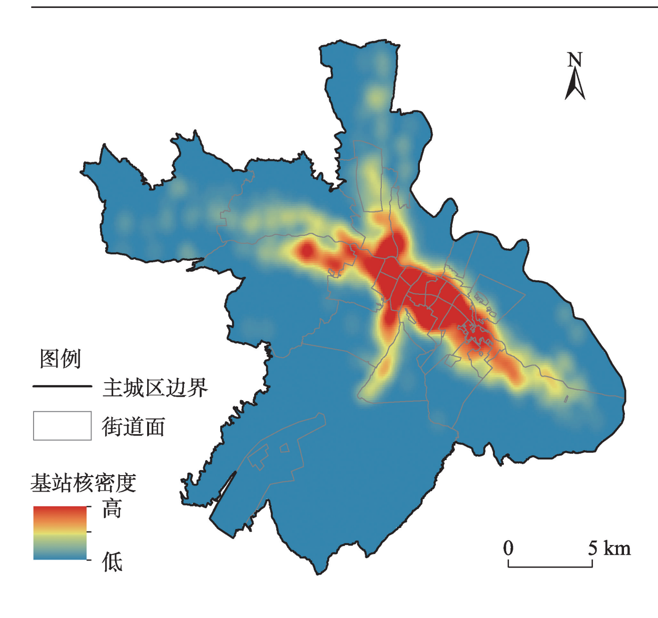


图2 西宁市主城区基站密度分布

Fig. 2 Density distribution of base stations in the main urban districts of Xining City

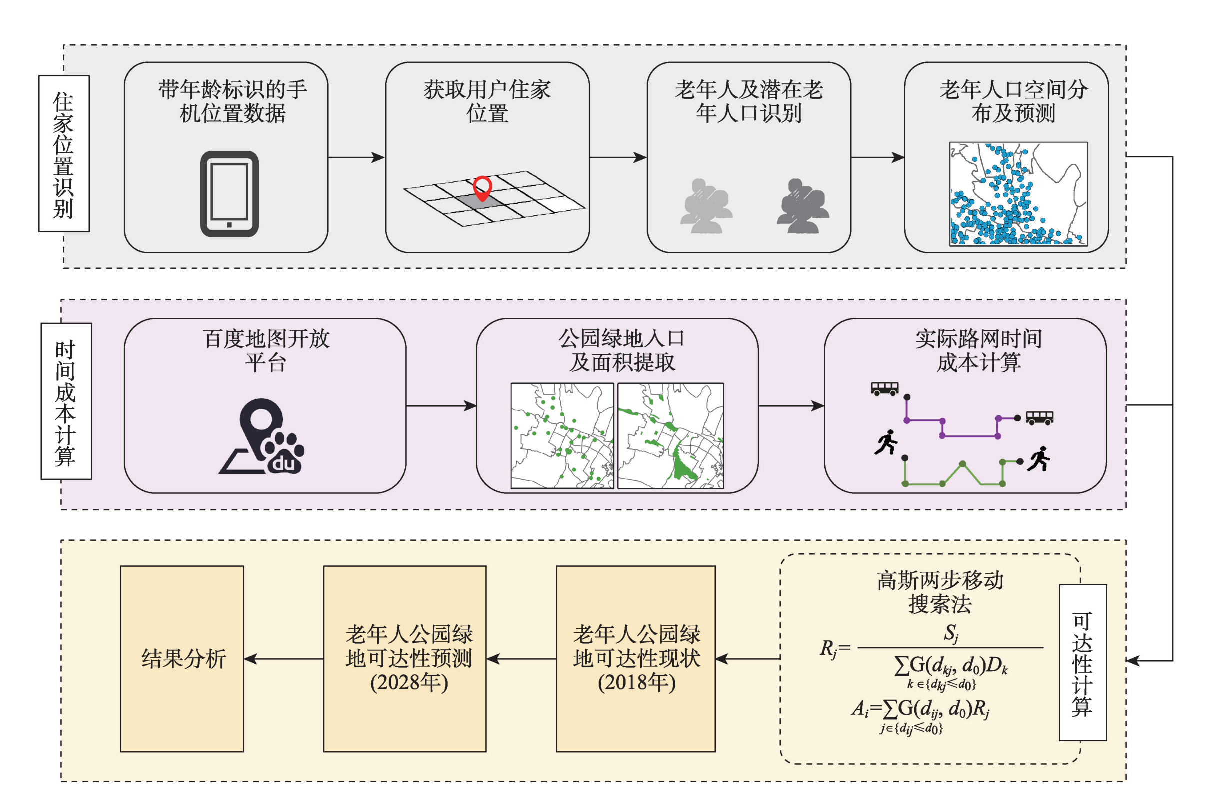
2018年西宁市公园绿地的位置、入口以及面积数据，确定研究区公园绿地共计48个。

数据预处理。为降低无效数据及异常数据对分析结果的影响，本文对手机位置数据进行预处理，主要包括：(1) 重复值删除；(2) 空值删除；(3) 典型错误值删除；其中典型错误值是指经纬度、用户匿名ID、时间等出现异常的记录。

2.2 研究方法

本文基于手机位置数据，识别老年人和潜在老年人的住家位置，并构建一元线性回归模型预测老年人口空间分布，以此为需求信息；利用百度地图开放平台收集公园绿地数据，以此为供给信息，然后计算需求点到供给点的时间成本；采用高斯两步移动搜索法对2018年老年人公园绿地可达性进行计算，并对2028年老年人公园绿地可达性进行预测(图3)。

2.2.1 住家位置识别 本文基于2018年8月1日—8月6日的手机位置数据识别用户住家位置。首先，识别用户每天在00:00—06:00之间停留时间超过3 h的位置[34-35]。若这6 d中，同一用户识别出的位置均相同，则将该位置作为用户的住家位置；否则，



注：R_j为供给点j的供需比；S_j为供给点j的服务规模；d_{kj}为格网质心k和供给点j之间的时间成本；d_0为设定的时间阈值；D_k为搜索区域内消费者的需求；$G(d_{kj},d_0)$为高斯方程函数；A_i为需求点i的可达性；d_{ij}为需求点i到供给点j的时间成本。

图3 技术路线图

Fig. 3 Technical flowchart

先求出6 d中不同位置的重心，然后选择距离重心最近的位置点作为该用户的住家位置，最终共识别出2.5×10^5个用户的住家位置。其次，在能够识别出住家位置的用户中筛选年龄为60岁及以上的用户识别为老年人，接着筛选出50~59岁的用户识别为潜在老年人。为了检验老年手机用户的代表性情况，本文将500 m×500 m格网尺度下老年手机用户数与WorldPop人口数据进行一致性检验，发现两者的Spearman相关系数为0.69（$P<0.001$）；此外，本文将老年手机用户数与六普数据进行对比，通过箱线图剔除异常值后[36]，发现除彭家寨镇和韵家口镇人口数据明显异常外，其余街道中两者的Spearman相关系数为0.71（$P<0.05$）。据统计[37-38]，2021年使用功能机的老年人有1.4×10^8人，占老年人的53.0%，使用智能机的老年人占38.6%，累计占比超过90%，表明随着移动通信技术的发展，包括智能机和功能机在内的移动电话在老年人中普及程度较高，手机位置数据在评估老年人住家位置时具有一定的代表性。

2.2.2 老年人口预测 由于缺乏预测周期内有效的老年人迁徙数据，本文假设人群居住位置不随年龄增长而变更。因此，局部区域老年人口数量可通过如下逻辑预测：预测年度老年人口数量等于上一年老年人口数，减去死亡的老年人口，再加上净新增老年人口数。计算公式如下：

$$P_{m+1}=P_m-\eta_m+\mu_m \tag{1}$$

式中：P_{m+1}为第$m+1$年老年人口数；P_m为第m年的老年人口数；η_m为第m年死亡的老年人口数；μ_m为从第m年到第$m+1$年净新增老年人口数。

η_m根据当年老年人口基数及其死亡率进行计算，考虑到老年人死亡率高于总人口死亡率，因此本文采用校正系数对当年全人口死亡率进行校正，从而获得老年人死亡率[39]。具体公式如下：

$$\eta_m=P_m\times s_m\times\alpha \tag{2}$$

式中：s_m为第m年的总人口死亡率；α为老年人死亡率校正系数。

μ_m根据当年潜在老年人口数减去其死亡人数进行计算，考虑到潜在老年人口死亡率与总人口死亡率有所差异，因此采用校正系数对当年全人口死亡率进行校正从而获得潜在老年人死亡率。具体公式如下：

$$\mu_m=\Delta-\Delta\times s_m\times\beta \tag{3}$$

式中：Δ为潜在老年人口数；β为潜在老年人死亡率校正系数。

s_m是根据西宁市2000—2019年统计公报获取的历年死亡率进行估算，本文运用一元线性回归模型预测西宁市某一年份的总人口死亡率。具体公式如下：

$$s_m=a\times m+b \tag{4}$$

式中：a和b为待评估系数，本文利用最小二乘原理，根据历年死亡率进行计算。

老年人和潜在老年人死亡率校正系数α、β是根据2012—2021年《中国人口和就业统计年鉴》中全国分年龄、性别的死亡人口状况分别计算出10 a间的α和β并最终取其平均值，其计算公式如下：

$$\alpha=\frac{p_1}{p_0}\times\frac{\mathrm{POP}_0}{\mathrm{POP}_1} \tag{5}$$

$$\beta=\frac{p'_1}{p'_0}\times\frac{\mathrm{POP}_0}{\mathrm{POP}_1} \tag{6}$$

式中：p_0为≥60岁人口数；p_1为≥60岁的死亡人口数；POP_0为总人口数；POP_1为总死亡人口数；p'_0为≥50、<60岁的人口数；p'_1为≥50、<60岁的死亡人口数。

2.2.3 时间成本计算 为兼顾城市道路连通性、通行能力以及不同交通模式效率，本文基于百度地图API，获取不同交通模式下非高峰时段需求点到供给点所用时间，作为时间成本。具体而言，在步行和公共交通模式下，获取工作日10:00—16:00以及18:00—22:00时段格网质心点到公园绿地的通行时间。相比于传统基于路网数据的计算结果，该方法能够综合考虑道路的等级、拥堵情况、交通信号灯等道路实际通行情况，提供更为精准的评估结果。

2.2.4 公园绿地可达性计算 本文将研究区划分为500 m×500 m格网作为分析单元，采用高斯两步移动搜索法[32]计算公园绿地可达性。

第一步，计算供需比。首先获取公园绿地服务的供给位置及规模。本文利用公园面积度量服务供给规模，并将每个公园的入口位置作为供给点j，若某公园绿地检索不到公园入口则将其质心作为供给点，若某公园有多个入口，则选取需求点到该公园绿地时间最短的入口作为供给点。然后给供给点j指定一个时间服务阈值d_0，并搜索所有供给点时间阈值d_0范围内的需求点即格网质心i，计算

每个供给点 j 的供需比 R_j，其计算公式为：

$$R_j=\frac{S_j}{\sum_{k\in\{d_{kj}\le d_0\}}G(d_{kj},d_0)D_k} \tag{7}$$

式中：d_{kj} 为格网质心 k 和供给点 j 之间的时间成本；d_0 为设定的时间阈值；S_j 为供给点 j 对应的服务规模，本文使用公园绿地面积；D_k 为搜索区域内消费者（即 $d_{kj}\le d_0$）的需求，本文使用老年人口数；$G(d_{kj},d_0)$ 为高斯方程函数，其计算公式为：

$$G(d_{kj},d_0)=\begin{cases}\dfrac{e^{-(\frac{1}{2})\times(\frac{d_{kj}}{d_0})^2}-e^{-(\frac{1}{2})}}{1-e^{-(\frac{1}{2})}}, & \text{if } d_{kj}\le d_0\\ 0, & \text{if } d_{kj}>d_0\end{cases} \tag{8}$$

第二步：计算可达性。对每个需求点 i，搜索所有在时间阈值 d_0 范围内的供给点 j，对于落在空间作用域内每个供给点的供需比 R_j，利用高斯函数赋以权重，并对这些加权后的供需比 R_j 进行加和，计算得到需求点 i 的可达性 A_i，A_i 越大说明可达性越好，其计算公式为：

$$A_i=\sum_{j\in\{d_{ij}\le d_0\}}G(d_{ij},d_0)R_j \tag{9}$$

式中：d_{ij} 为需求点 i 到供给点 j 的时间成本。

3 结果与分析

3.1 老年人口预测

本文以2018年为基期，预测2028年老年人口分布情况。2018年和2028年西宁市主城区的老年人口数和密度呈现中心高、四周低的空间分布格局（图4a~d），且均有超过70%的老年人分布于中心城区和近郊区。10 a间老年人数变化量均为正值且呈现出环状变化的特征（图4e），即中心城区和远郊区增加量相对较小，而近郊区增加量较大。其主要原因是在中心城区人口结构中，老年人口和其他各年龄均衡，增长平稳。在远郊区人口结构中，由于劳动力向城区集中，潜在老龄化人群少，因此增加相对较少。而近郊区以劳动力人口为主，老年人口基数低，但潜在老年人口多，是老年人口增加的主要区域。

2018—2028年各街道老年人口数量排序格局有所变化，但总体较为平稳（图5）。韵家口镇、马坊街道、八一路街道、彭家寨镇和小桥大街街道为2018年老年人口数量排序前五的区域，在2028年仍

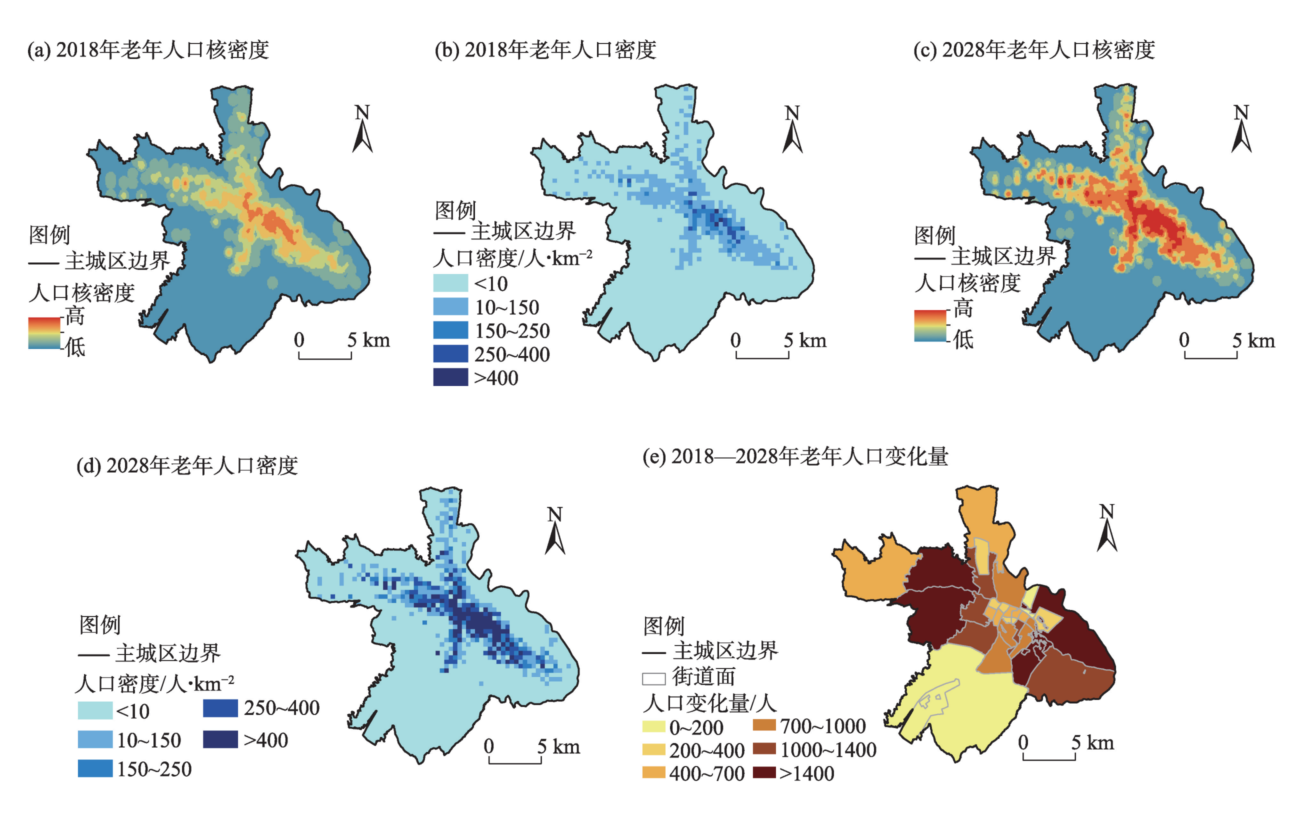


图4 2018—2028年西宁市主城区老年人口分布

Fig. 4 Distributions of elderly population in the main urban districts of Xining City from 2018 to 2028

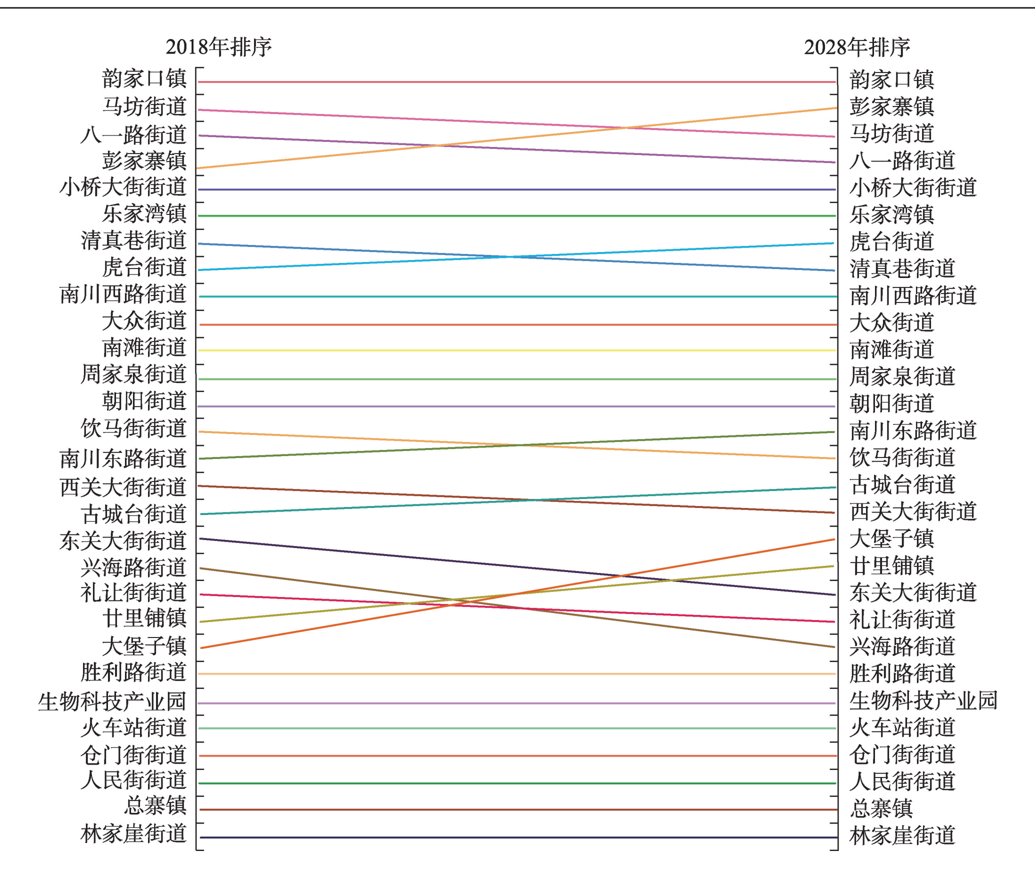


图5 2018年和2028年按老年人口数量倒序各街道序列变化

Fig. 5 Sequence change of each street in reverse order of the number of the elderly population in 2018 and 2028

然位居前五，其中彭家寨镇由第四上升为第二，老年人数量有所增加，而八一路街道和马坊街道排序均下降一位；此外，大堡子镇老年人口数量排序明显上升。进一步分析发现，近郊区和远郊区老年人口数量占比总体上升，城中心总体下降。

3.2 老年人公园绿地可达性现状

为对比不同情况下可达性变化情况，根据公交30 min可达性值，运用几何间隔法将分类结果划分为无供给、低、较低、中等、较高和高6类可达性等级，并以此作为分类基准，对其他阈值参数的分析结果进行表达对比(图6~9)。其中，步行模式下，老年人公园绿地可达性整体不高且呈现集聚成片的空间分布特征。以步行15 min为例，可达性处于中等及以上的空间单元占9.06%，覆盖的老年人口为35.64%(图6)，可达性高的区域主要分布在南川工业园、韵家口镇、南滩街道、彭家寨镇和廿里铺镇(图7b)。当时间阈值为30 min时，整体可达性虽然有所改善，但仍有23.73%的人口无法享受公园绿地服务，可达性等级的空间分布特征没有较大变化。

公共交通模式下，老年人公园绿地可达性整体

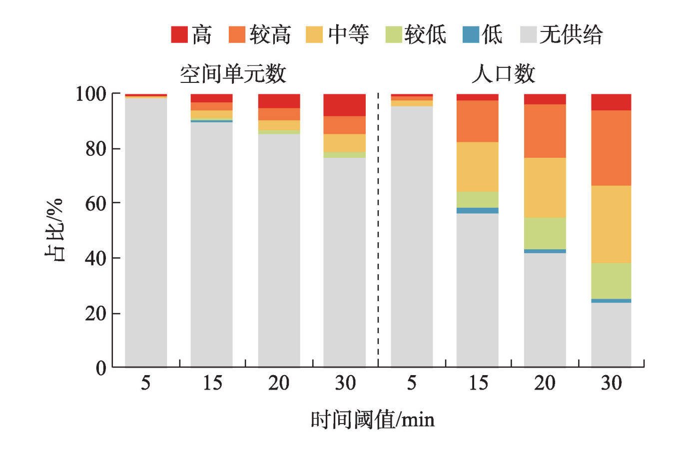


图6 步行模式下西宁市主城区老年人公园绿地各等级可达性空间单元及老年人口占比

Fig. 6 Proportion of spatial units and proportion of the elderly population in different levels of accessibility to parks and green spaces for the elderly in the main urban districts of Xining City under the walking mode

呈现“十字”条带状的空间分布特征，这与西宁市空间结构相一致。对比图9a和图7b可知，公交15 min条件下的公园绿地可达性明显低于步行15 min条件下的可达性。随着时间阈值增加，可达性结果变

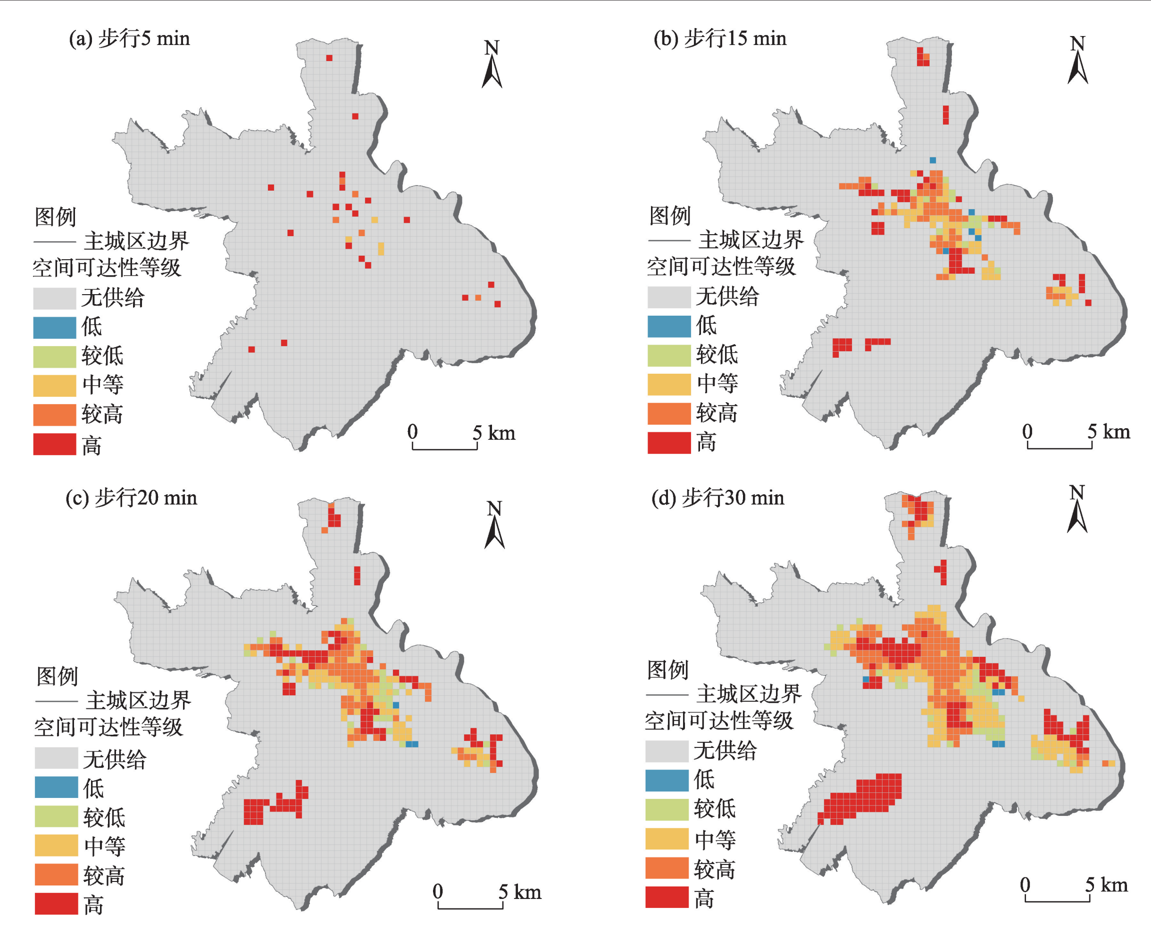


图7 步行模式下西宁市主城区老年人公园绿地可达性空间分布

Fig. 7 Spatial distributions of accessibility to parks and green spaces for the elderly in the main urban districts of Xining City under the walking mode

化较为显著。公交30 min条件下,19.42%的空间单元可获得公园绿地服务,可达性覆盖的老年人口占73.44%(图8),其中可达性高的区域主要分布在南川工业园和彭家寨镇。随着时间阈值进一步增加,可达性高的区域会发生较为明显的转移,例如公交60 min时,可达性高的区域主要分布在生物科技产业园、廿里铺镇和韵家口镇,为了减少老年人前往公园绿地的时间,可考虑在这些区域增设公园设施或扩建原有公园绿地。根据结果,不同的时间阈值条件下,可达性结果存在显著差异,这与翟石艳等[40]发现"当距离和时间阈值设置不同,可达性结果差异较大"相一致,因此在基于所得结果开展应用决策时,要根据具体目标进行参数选择,以避免资源浪费。

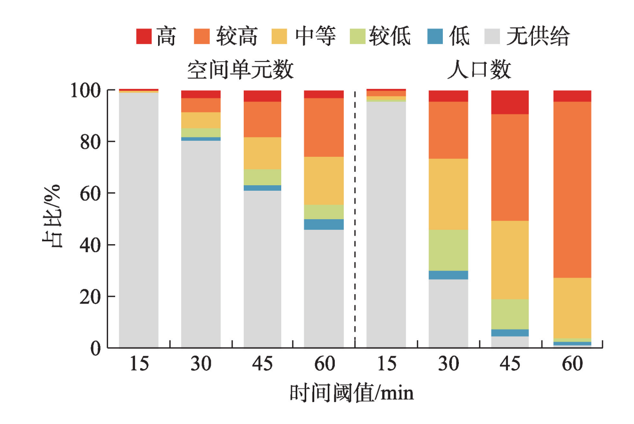


图8 公交模式下西宁市主城区老年人公园绿地各等级可达性空间单元及人口占比

Fig. 8 Proportion of spatial units and proportion of the elderly population in different levels of accessibility to parks and green spaces for the elderly in the main urban districts of Xining City under the public transport mode

3.3 老年人公园绿地可达性预测及变化分析

本文假设当前道路建设和公园绿地的资源维持现状,2028年相对2018年,步行和公交模式下老年人公园绿地可达性空间分布总体格局未发生显著变化(图10~13)。步行15 min和30 min条件下,老年人公园绿地可达性整体呈下降趋势,其中,研

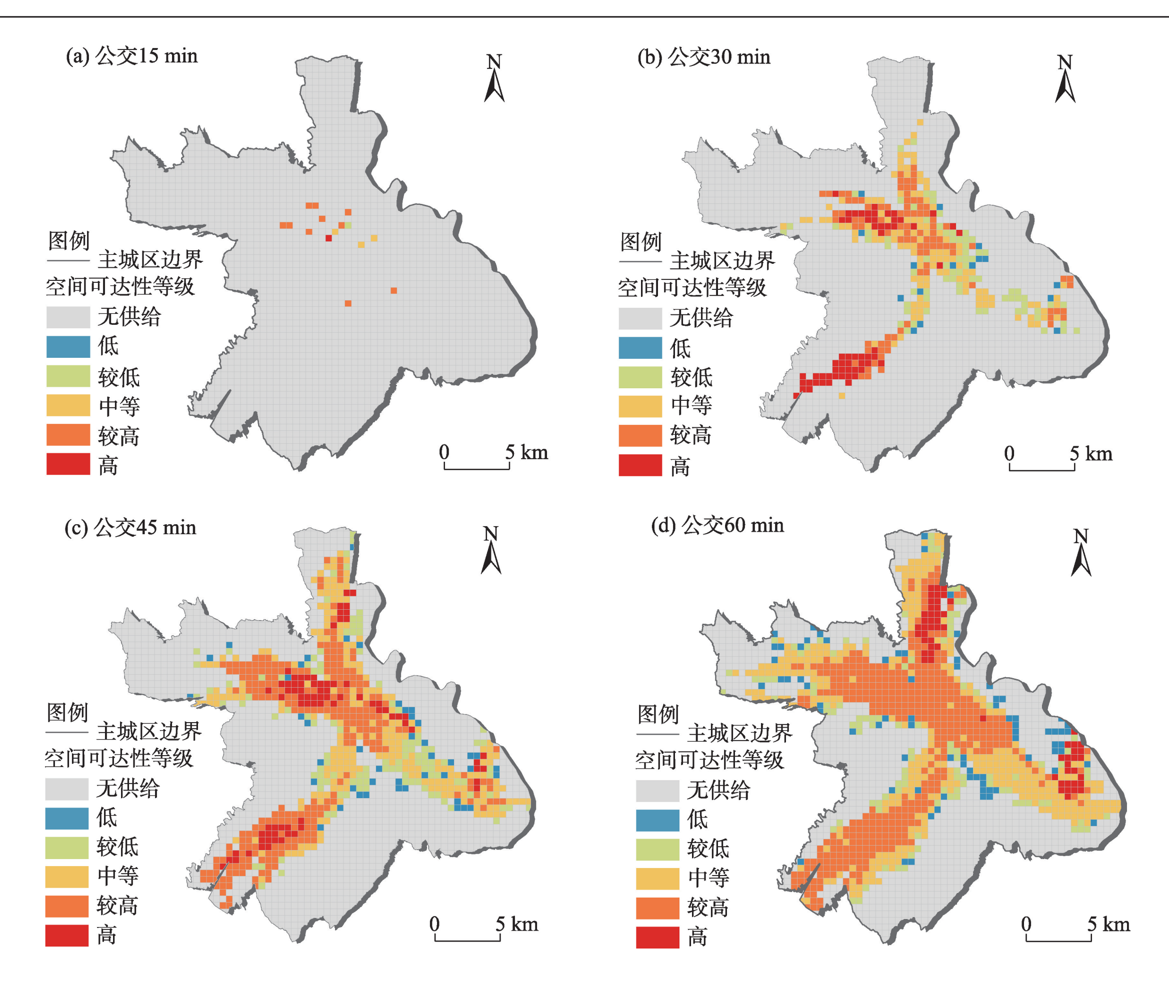


图9 公交模式下西宁市主城区老年人公园绿地可达性空间分布

Fig. 9 Spatial distributions of accessibility to parks and green spaces for the elderly in the main urban districts of Xining City under the public transport mode

究区域中心可达性降低较少，而研究区的西部、北部和东南部可达性降低较为明显(图11c~d)。步行15 min条件下，较高及以上可达性覆盖人群从17.58%降低到6.70%(图6、图10)。当时间阈值为30 min，廿里铺镇北部、彭家寨镇及南滩街道等高可达性聚集区域直接消失了。

步行模式下，2018—2028年老年人公园绿地可达性相对变化量较大(图11e~f)，以步行30 min为例，仅考虑有供给的区域，87%的空间单元的公园绿地可达性降低了70%以上(图11f)，其中降低最明显的区域为彭家寨镇和韵家口镇，这与老年人口变化量相一致，即老年人口增加越多会导致可达性降低越快。虽然彭家寨镇和韵家口镇老年人公园绿地可达性降低较为明显，但其可达性仍处于较高水平，说明该区域公园绿地设施筹划较为科学；八一路街道和南川东路街道可达性降低也较为明显，且可达性处于较低水平，针对该区域应提早做好应对

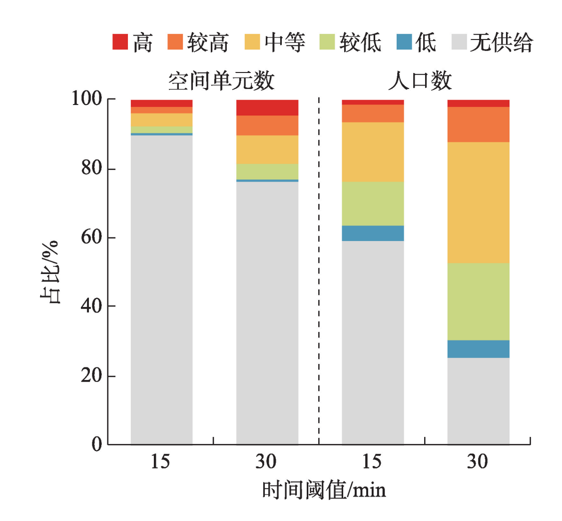


图10 2028年步行模式下西宁市主城区老年人公园绿地各等级可达性的空间单元及人口占比

Fig. 10 Proportion of spatial units and proportion of the elderly population in different levels of accessibility to parks and green spaces for the elderly in the main urban districts of Xining City under the walking mode in 2028

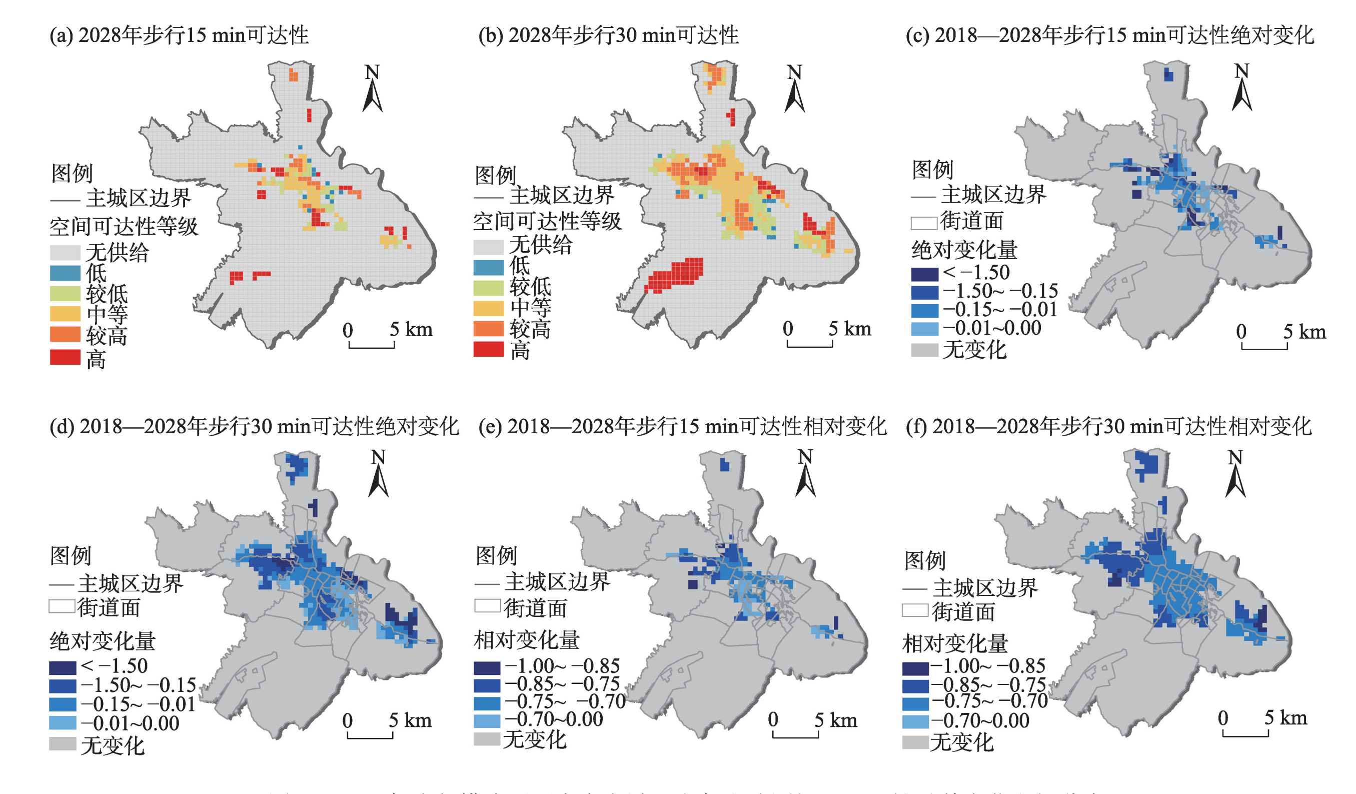


图11 2028年步行模式下西宁市主城区老年人公园绿地可达性及其变化空间分布

Fig. 11 Spatial distributions of accessibility and its change to parks and green spaces for the elderly in the main urban districts of Xining City under the walking mode in 2028

措施,更加重视老年人对公园绿地的需求。

公交模式下,2028年老年人公园绿地可达性随时间阈值的增加而发生较大变化(图13a~b)。公交15 min条件下,可达性覆盖的空间单元数及人口数均较少,当时间阈值为30 min时,公园绿地可达性覆盖的范围明显扩大,呈现"十字"形条带状分布,大部分远郊区无法获得公园绿地服务。2018—2028年在公交15 min和30 min条件下,老年人公园绿地可达性整体呈下降趋势,且位于研究区西部及西南部的部分区域可达性降低较为明显。公交30 min条件下,可达性较高及以上覆盖人群从26.41%下降到9.28%(图8、图12),仅考虑有供给的区域,88%空间单元的公园绿地可达性降低了70%以上(图13f),可达性相对变化较大的区域主要分布在彭家寨镇和韵家口镇。公交和步行30 min条件下,城中心的可达性减少量均小于郊区,且研究区西部的可达性都明显降低。

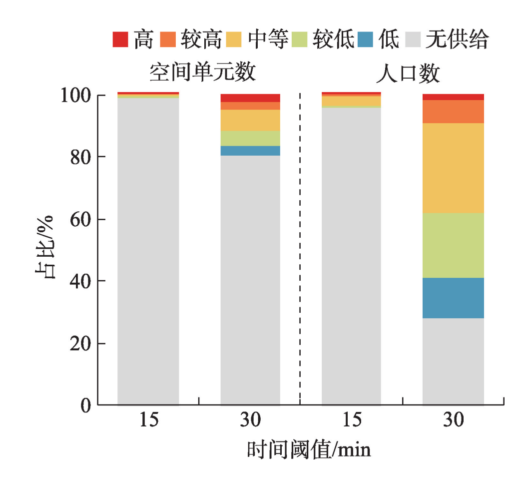


图12 2028年公交模式下西宁市主城区老年人公园绿地各等级可达性的空间单元及人口占比

Fig. 12 Proportion of spatial units and proportion of the elderly population in different levels of accessibility to parks and green spaces for the elderly in the main urban districts of Xining City in 2028 under the public transport mode

3.4 对城市公园绿地公共资源配置的建议

基于分析结果提出如下建议,具体包括:(1)决策者应明确需求对象,定位清晰。步行和公共交通模式下老年人公园绿地可达性随时间阈值的选择有很大变化,当选择不同的时间阈值时,可达性水平达中等及以上覆盖人群变化能够超过25%(图6)。因此在基于所得结果开展应用决策时,要明确具体的公共设施服务目标和场景,避免因参数选择

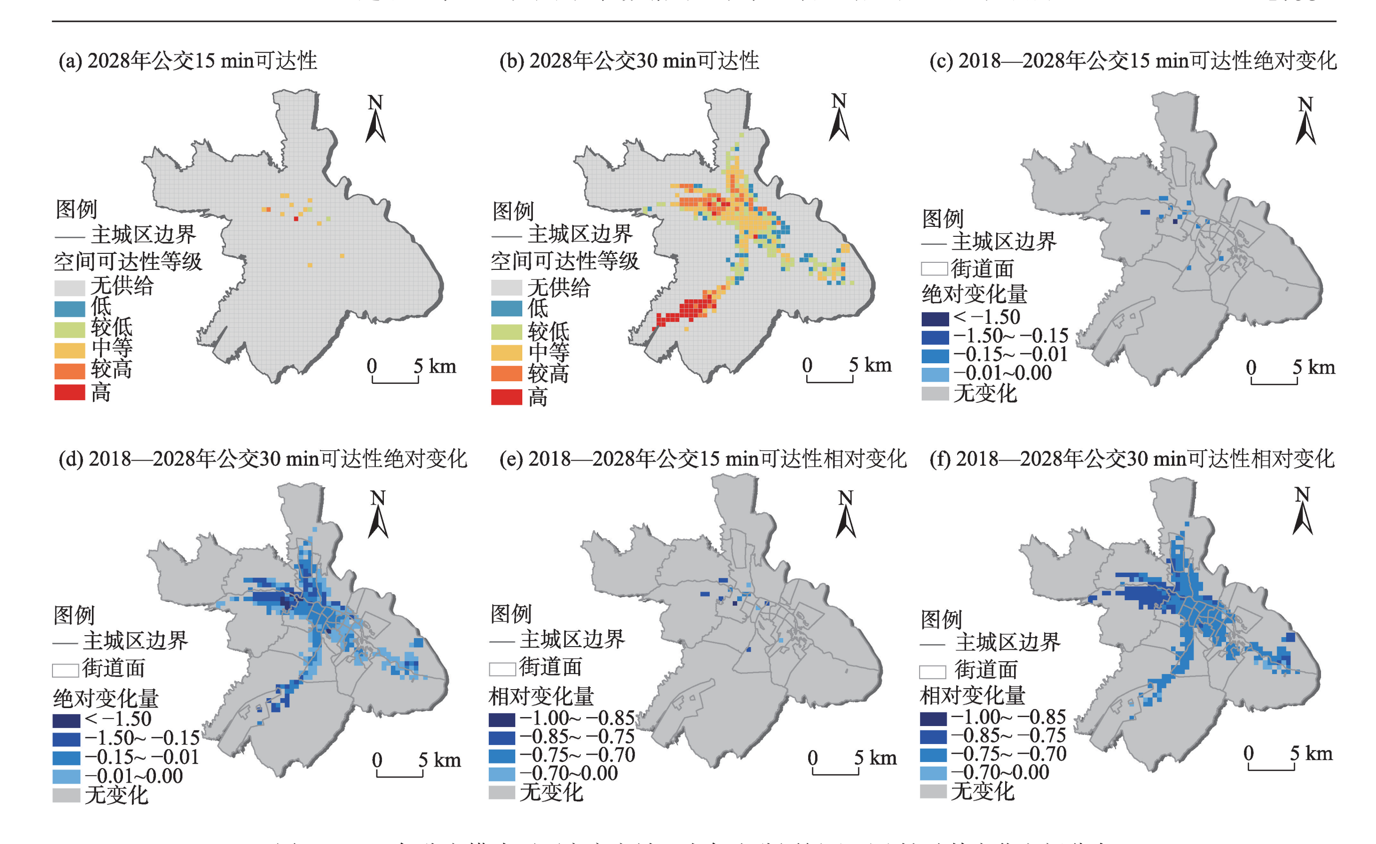


图13 2028年公交模式下西宁市主城区老年人公园绿地可达性及其变化空间分布

Fig. 13 Spatial distribution of accessibility and its change to parks and green spaces for the elderly in the main urban districts of Xining City under the public transport mode in 2028

不当导致潜在的资源浪费。(2) 从资源供给角度而言，针对公园分布较为密集的中心城区和近郊区，可通过增设公园出入口、增加公园承载力(例如增加老年运动器材建设、引入精细化管理模式)、建设“口袋公园”等来提高公园绿地的服务供给能力，这一措施能有效改善70%以上老年人口的公园绿地可达性。对于公园绿地供给较少的远郊区可以考虑通过新建、扩建等方式增加公园绿地供给，缓解公园绿地资源供给不足的问题。(3) 从出行优化角度，合理规划道路布局，完善城市路网体系建设，在主要公园绿地出入口增设公交站、快速步行道等，也能够促进更多老年人享受到公园绿地服务。(4) 在开展养老设施规划布局时，可以统筹考虑，通过在部分区域集约化部署公共服务设施(如建设养老小镇、老年人主题公园等)将老年人口进行分流，以缓解养老公共服务设施需求与城市总体发展需求之间的矛盾。

4 结 论

本文利用带有年龄标识信息的手机位置数据，提出一种老年人公园绿地可达性未来需求预测的方法。该方法通过构建人口预测模型，并融合高斯两步移动搜索法，对老年人公园绿地可达性现状及未来需求进行分析。西宁市主城区的数据检验了该方法的可行性，并得出如下结论：

(1) 2018—2028年老年人数显著增加，且老年人数变化量呈现中心城区及远郊区较低、近郊区高的环状变化特征。

(2) 10 a间，空间分布总体格局未发生显著变化，但老年人公园绿地可达性水平总体下降，其中步行15 min条件下，可达性较高及以上覆盖人群从17.58%降低到6.70%；公交30 min条件下，可达性较高及以上覆盖人群从26.41%下降到9.28%，且研究区西部的可达性降低较为明显。

(3) 2018—2028年老年人公园绿地可达性相对变化量较大，步行和公交30 min条件下，约87%的空间单元的可达性降低了70%以上，且郊区可达性减少量均高于城中心。

参考文献(References)

[1] 刘厚莲. 世界和中国人口老龄化发展态势[J]. 老龄科学研究,

2021, 9(12): 1-16. [Liu Houlian. Trends of population aging in China and the world as a whole[J]. Scientific Research on Aging, 2021, 9(12): 1-16.]
[2] Hansen W G. How accessibility shapes land-use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25(2): 73-76.
[3] Hillsdon M, Panter J, Foster C, et al. The relationship between access and quality of urban green space with population physical activity[J]. Public Health, 2006, 120(12): 1127-1132.
[4] Moyano A, Martínez H, Coronado J M. From network to services: A comparative accessibility analysis of the Spanish high-speed rail system[J]. Transport Policy, 2018, 63: 51-60.
[5] Hu L, He S, Han Z, et al. Monitoring housing rental prices based on social media: An integrated approach of machine-learning algorithms and hedonic modeling to inform equitable housing policies [J]. Land Use Policy, 2019, 82: 657-673.
[6] 李鑫, 马晓冬, 薛小同, 等. 城市绿地空间供需评价与布局优化——以徐州中心城区为例[J]. 地理科学, 2019, 39(11): 1771-1779. [Li Xin, Ma Xiaodong, Xue Xiaotong, et al. Spatial supply-demand evaluation and layout optimization for urban green space: A case study of Xuzhou central district[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(11): 1771-1779.]
[7] Chen X, Jia P. A comparative analysis of accessibility measures by the two-step floating catchment area (2SFCA) method[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2019, 33(9): 1739-1758.
[8] Radke J, Mu L. Spatial decompositions, modeling and mapping service regions to predict access to social programs[J]. Geographic Information Sciences, 2000, 6(2): 105-112.
[9] Wang F. Measurement, optimization, and impact of health care accessibility: A methodological review[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2012, 102(5): 1104-1112.
[10] Li M, Wang F, Kwan M, et al. Equalizing the spatial accessibility of emergency medical services in Shanghai: A trade-off perspective [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2022, 92(2): 101745, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2021.101745.
[11] 周海涛, 马钰松, 樊亚宇, 等. 内蒙古红色旅游资源空间分布及可达性分析[J]. 干旱区地理, 2023, 46(5): 814-822. [Zhou Haitao, Ma Yusong, Fan Yayu, et al. Spatial distribution and accessibility analysis of red tourism resources in Inner Mongolia[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(5): 814-822.]
[12] Dai D. Racial/ethnic and socioeconomic disparities in urban green space accessibility: Where to intervene?[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 102(4): 234-244.
[13] Zhang J, Cheng Y, Wei W, et al. Evaluating spatial disparity of access to public parks in gated and open communities with an improved G2SFCA model[J]. Sustainability, 2019, 11(21): 5910, doi: 10.3390/su11215910.
[14] Shaw S, Sahoo H. Accessibility to primary health centre in a Tribal District of Gujarat, India: Application of two step floating catchment area model[J]. GeoJournal, 2020, 85(2): 505-514.
[15] 韩非, 罗仁朝. 基于可达性测度的城市社区居家养老服务供需匹配研究——以南京为例[J]. 经济地理, 2020, 40(9): 91-101. [Han Fei, Luo Renchao. Matching of supply and demand for community service-oriented home care facilities based on accessibility measurement: A case study of Nanjing[J]. Economic Geography, 2020, 40(9): 91-101.]
[16] Kabisch N, Haase D. Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 122: 129-139.
[17] Rigolon, Alessandro. Parks and young people: An environmental justice study of park proximity, acreage, and quality in Denver, Colorado[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 165: 73-83.
[18] Lee A, Maheswaran R. The health benefits of urban green spaces: A review of the evidence[J]. Journal of Public Health Oxford University Press, 2011, 33(2): 212, doi: 10.1093/pubmed/fdq068.
[19] Payne L, Mowen A, Orsega-Smith E. An examination of park preferences and behaviors among urban residents: The role of residential location, race, and age[J]. Leisure Sciences, 2002, 24(2): 181-198.
[20] Guo S, Song C, Pei T, et al. Accessibility to urban parks for elderly residents: Perspectives from mobile phone data[J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 191: 103642, doi: 10.1016/j.landurbplan.2019.103642.
[21] Wen C, Albert C, Haaren C V. Equality in access to urban green spaces: A case study in Hannover, Germany, with a focus on the elderly population[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2020, 55: 126820, doi: 10.1016/j.ufug.2020.126820.
[22] 韦易伶. 成都市老旧居住区绿地系统适老化改造研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2019. [Wei Yilin. Study on suitable aging transformation of old residential greenbelt system in Chengdu[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2019.]
[23] 程功. 山地城市老年群体公园绿地可达性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2020. [Cheng Gong. Research on green space accessibility of park for elderly people in mountain city[D]. Chongqing: Chongqing University, 2020.]
[24] 高雪梅, 杨续超, 陈柏儒, 等. 基于随机森林模型的环渤海地区人口空间化模拟[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(6): 1150-1162. [Gao Xuemei, Yang Xuchao, Chen Bairu, et al. Spatialization of population in the Bohai Rim region using random forest model[J]. Journal of Geo-information Science, 2022, 24(6): 1150-1162.]
[25] 侯亚丽, 匡文慧, 窦银银. 全球超大城 市空间扩张及分形特征研究[J]. 地理学报, 2022, 77(11): 2687-2702. [Hou Yali, Kuang Wenhui, Dou Yinyin. Analysis of urban expansion and fractal features in global 33 megacities from 2000—2020[J]. Journal of Geographical Sciences, 2022, 77(11): 2687-2702.]
[26] 牛强, 盛富斌, 刘晓阳, 等. 基于手机信令数据的城内迁居活跃度识别方法研究——以武汉市为例[J]. 地理研究, 2022, 41(8):

2142- 2154. [Niu Qiang, Sheng Fubin, Liu Xiaoyang, et al. Research on the identification method of relocation activity degree in inner city based on mobile phone signaling data: A case study of Wuhan[J]. Geographical Research, 2022, 41(8): 2142-2154.]

[27] 张雪霞, 吴升, 赵志远, 等. 基于手机信令数据的城市小活动空间人群空间分布特征[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(8): 1433-1445. [Zhang Xuexia, Wu Sheng, Zhao Zhiyuan, et al. Spatial distribution characteristics of people with small activity space in urban based on mobile phone signaling data[J]. Journal of Geo-information Science, 2021, 23(8): 1433-1445.]

[28] 朱菁, 张怡文, 樊帆, 等. 基于智能手机数据的城市建成环境对居民通勤方式选择的影响——以西安市为例[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2021, 49(2): 55-66. [Zhu Jing, Zhang Yiwen, Fan Fan, et al. Impact of urban built environment on commute mode choice by smart phone app data: A case study of Xi'an City[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2021, 49(2): 55-66.]

[29] 杨喜平, 杨鸿海, 李彬, 等. 基于手机数据的西部城市居民出行特征研究——以西宁市为例[J]. 人文地理, 2021, 36(1): 115-124. [Yang Xiping, Yang Honghai, Li Bin, et al. Characteristics of urban human mobility of western China based on mobile phone data: A case study of Xining[J]. Human Geography, 2021, 36(1): 115-124.]

[30] Wesolowski A, Stresman G, Eagle N, et al. Quantifying travel behavior for infectious disease research: A comparison of data from surveys and mobile phones[J]. Scientific Reports, 2014, 4(1): 5678, doi: 10.1038/srep05678.

[31] 仝德, 孙裔煜, 谢苗苗. 基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价[J]. 地理科学进展, 2021, 40(7): 1113-1126. [Tong De, Sun Yiyu, Xie Miaomiao. Evaluation of green space accessibility based on improved Gaussian two-step floating catchment area method: A case study of Shenzhen City, China[J]. Progress in Geography, 2021, 40(7): 1113-1126.]

[32] Lin Y, Zhou Y, Lin M, et al. Exploring the disparities in park accessibility through mobile phone data: Evidence from Fuzhou of China[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 281: 111849, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111849.

[33] 黄玖菊, 林伊婷, 陶卓霖, 等. 社会公平视角下深圳公园绿地可达性研究[J]. 地理科学, 2022, 42(5): 896-906. [Huang Jiuju, Lin Yiting, Tao Zhuolin, et al. Evaluation of park green space accessibility in Shenzhen from the perspective of social equity[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(5): 896-906.]

[34] Spaccapietra S, Parent C, Damiani M L, et al. A conceptual view on trajectories[J]. Data & Knowledge Engineering, 2008, 65(1): 126-146.

[35] Cao J, Li Q, Tu W, et al. Characterizing preferred motif choices and distance impacts[J]. PLoS ONE, 2019, 14(4): 1-17.

[36] 赵颖祺, 陈玉虎, 张晰, 等. 一种基于箱线图的SAR图像舰船检测算法研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2021, 51(10): 130-140. [Zhao Yingqi, Chen Yuhu, Zhang Xi, et al. A ship detection algorithm for SAR image based on box-plot[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edition), 2021, 51(10): 130-140.]

[37] 上海交通大学媒体与传播学院. 2021老年人手机使用报告[R]. 上海: 上海交通大学, 2021. [School of Mmedia & Communication, Shanghai Jiao Tong University. Report on mobile phone use among the elderly in 2021[R]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2021.]

[38] 中关村在线. 我国仍有1.4亿老年人使用功能机[EB/OL]. [2021-12-15]. https://mobile.zol.com.cn/783/7831904.html. [ZOL. There are still 140 million elderly people in China using functional phones[EB/OL]. [2021-12- 15]. https://mobile.zol.com.cn/783/7831904.html.]

[39] 陶卓霖, 程杨. 基于人口自然增长的北京市老年人口空间分布预测研究[J]. 人口与发展, 2016, 22(2): 91-97. [Tao Zhuolin, Cheng Yang. Projection of elderly population distribution in Beijing based on natural population growth[J]. Population and Development, 2016, 22(2): 91-97.]

[40] 翟石艳, 何新新, 孔云峰, 等. 基于最优供需分配的公共设施空间可达性分析[J]. 地理学报, 2022, 77(4): 1028-1038. [Zhai Shiyan, He Xinxin, Kong Yunfeng, et al. Measuring the spatial accessibility of public services by optimal supply-demand allocation[J]. Journal of Geographical Sciences, 2022, 77(4): 1028-1038.]

Prediction of the accessibility of parks and green spaces for the elderly in Xining City based on mobile phone location data

ZHAO Zhiyuan[1,2,3], DING Yichen[1,2], YANG Xiping[4,5], WU Sheng[1,2,3]

(1. Academy of Digital China (Fujian), Fuzhou University, Fuzhou 350003, Fujian, China; 2. Key Laboratory of Spatial Data Mining and Information Sharing, Ministry of Education, Fuzhou 350003, Fujian, China; 3. Fujian Collaborative Innovation Center for Big Data Applications in Governments, Fuzhou 350002, Fujian, China; 4. Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources, Shenzhen 518000, Guangdong, China; 5. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

Abstract: Predicting and analyzing the availability of green space resources for the elderly are crucial for improving their quality of life and addressing the challenges of an aging society. Taking Xining City, the area with the largest elderly population in Qinghai Province, as the study area, this study identifies and predicts the spatial distribution of older people based on mobile phone location data with age identification information. The Gaussian-based two-step floating catchment area (G2SFCA) method was then employed to study and predict the accessibility of parks and green spaces for the elderly. The following results were observed: (1) The elderly population increasing rate exhibited a circular distribution, displaying a low rate in the central city and outer suburbs and a high rate in the inner suburbs. (2) The overall spatial distribution pattern of accessibility of parks and green spaces for the elderly did not change significantly over the 10-year forecast period, but the general accessibility level declined. Under the condition of walking for 15 min, the population covered by relatively high and high grades of accessibility decreased from 17.58% to 6.70%. Moreover, under the condition of public transportation for 30 min, the population covered by relatively high and high grades of accessibility decreased from 26.41% to 9.28%. (3) It was found that the relative variability of accessibility of parks and green spaces for the elderly is significant from 2018 to 2028, with approximately 87% of the parks and green spaces experiencing a reduction of >70% in accessibility under both walking and public transportation conditions for 30 min. This study provides valuable insights for future urban park and green space planning, particularly in response to the needs of an aging population.

Key words: the elderly people; park and green space; mobile phone data; accessibility; Gaussian-based two-step floating catchment area method; Xining City